

FELIPE SKÓRA NETO

Avaliação da tolerância térmica de *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus*
(SILURIFORMES: CALLICHTHYIDAE) peixes endêmicos na Floresta Atlântica
Paranaense, como subsidio para conservação das espécies em tempos de
aquecimento global

Curitiba
2010

FELIPE SKÓRA NETO

Avaliação da tolerância térmica de *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus*
(SILURIFORMES: CALLICHTHYIDAE) peixes endêmicos na Floresta Atlântica
Paranaense, como subsidio para conservação das espécies em tempos de
aquecimento global

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Ciências Biológicas,
apresentado ao Departamento de Fisiologia,
do Setor de Ciências Biológicas, da
Universidade Federal do Paraná, sob a
orientação da Profa. Dra. Viviane Prodocimo
(Departamento de Fisiologia, UFPR) e Co-
orientação do Prof. Dr. Jean Ricardo Simões
Vitule (Departamento de Eng. Ambiental,
UFPR)

Curitiba
2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Profa. Viviane Prodocimo pela orientação e apoio tanto na área acadêmica e pelos desafios de outras ordens que ocorreram ao longo do trabalho.

Prof. Jean Ricardo Simões Vitule pela orientação no decorrer do trabalho, e principalmente por ter me guiado em uma área de pesquisa com peixes dulcícolas que tanto admiro.

Prof Carolina Arruda Freire, pela enorme dedicação dado a ciência, que me serve de exemplo.

A todos os participantes do museu de história natural do capão da imbuia: Vinícius Abilhoa, Raul Braga, Hugo Bornawtoski, Mateus Oliveira Freitas. Por colaborarem no meu crescimento como acadêmico.

A minha futura esposa, por ser tão compreensiva e em todas as ocasiões ter me feito prosseguir.

A meus pais que sempre acreditaram no meu sonho de ser cientista desde pequeno e sempre me incentivaram a persegui-lo.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	iv
RESUMO	v
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	8
OBJETIVO GERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
MATERIAL E MÉTODOS	9
TRANSPORTE E ACLIMATAÇÃO	9
ACLIMATAÇÃO TÉRMICA	9
DETERMINAÇÃO DA TOLERÂNCIA TÉRMICA MÁXIMA E RESPOSTA AO ESTÍMULO	10
RESULTADOS	11
1) TEMPERATURA CRÍTICA MÁXIMA	11
2) FREQUENCIA RESPIRATÓRIA E PARADA RESPIRATÓRIA	12
3) PERDA DE RESPOSTA A ESTÍMULOS	13
4) TEMPERATURA DE INÍCIO DA PERDA DE EQUILÍBRIO	13
DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

RESUMO

Em face de um aquecimento global apontado por diversos modelos, que chegam a prever um aumento de 4°C em 100 anos na temperatura média da terra, os estudos sobre a tolerância dos organismos a temperatura veem sendo enfatizada. Os peixes como animais poiquilotérmicos tem sua temperatura corporal próxima a temperatura da água que habita, este parâmetro ambiental que é a temperatura afeta direta e indiretamente a vida destes organismos. Os organismos por sua vez dispõem de mecanismos, que garantem plasticidade para lidar com o aumento de temperatura do ambiente. As temperaturas críticas máximas de *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus* foram determinadas utilizando indivíduos adultos aclimatados em grupos de temperatura de 20, 25 e 30°C. Para cada temperatura de aclimação as temperaturas críticas máximas foram $35,3 \pm 0,17$; $37,02 \pm 0,1$ e $37,67 \pm 0,04$ °C para *C. ehrhardti* e $34,24 \pm 0,09$; $34,63 \pm 0,11$ e $35,2 \pm 0,12$ °C para *S. barbatus*.

Ambas as espécies são provenientes da Floresta Atlântica, mas cada uma delas tem seu microclima específico. O *C. ehrhardti* é proveniente da vertente ocidental da serra do mar com uma maior variação sazonal de temperatura se comparada ao *S. barbatus* proveniente da vertente oriental da serra do mar e com um ambiente termicamente mais estável. Esta amplitude de variação térmica do ambiente faz com que indivíduos tenham um gasto maior de energia em mecanismos contra o estresse térmico, explicando o motivo de *C. ehrhardti* apresentar maior temperatura crítica máxima se comparado a *S. barbatus*.

INTRODUÇÃO

A expansão da população humana vem trazendo impactos negativos à integridade da biota aquática pelo mundo, como por exemplo, o aumento de temperatura nos corpos aquáticos causados pela acumulação de CO₂ na atmosfera de origem antropogênica (WALTHER et al., 2002, PARMESAN & YOHE, 2003; HARRINGTON et al., 1999). Em larga escala, os efeitos da elevação da temperatura da água incluem: mudanças na distribuição geográfica de espécies como, zooplânctons (SOUTHWARD et al., 1995), macroalgas (LUNING, 1990) e animais ectotérmicos marinhos (PERRY et al., 2005) e de água doce ao longo dos gradientes latitudinais (HARRINGTON et al., 1999; ROOT et al., 2003), além da facilitação de estabelecimento de espécies não-nativas e homogenização biótica (RAHEL, 2008). Numa escala espacial menor, o efeito inclui perda local de abundância de espécies comuns e extinção local de espécies ou de porções de um ecossistema como barreiras de coral, que vêm se perdendo pela acidificação dos oceanos (PARMESAN & YOHE, 2003; THOMAS et al., 2004; HOEGH-GULDBERG et al., 2007).

Estudos realizados pelo IPCC (Painel intergovernamental de mudanças climáticas) sobre o efeito do aquecimento global em regiões tropicais e temperadas relatam que a temperatura da água tenderá a aumentar de 1 a 8°C nos próximos 200 anos (IPCC, 2007). Esse aquecimento é uma das ameaças a Floresta Atlântica (MYERS et al., 2000) e seus rios costeiros. Essa região contém muitas espécies de peixes endêmicos, pouco conhecidos ecologicamente e fisiologicamente, que se encontram sobre forte ameaça do efeito da expansão humana e do aquecimento global, não se sabendo ao certo as conseqüências dessas mudanças sobre essas espécies (ABILHOA & DUBOC, 2004).

As comunidades de peixes dulcícolas são estruturadas por características físicas e geo-climáticas das bacias (NELSON, 2006), sendo afetadas por mudanças estacionais decorrentes da expansão e contração do ambiente aquático durante as variações climáticas (LOWE-MCCONNELL, 1975; 1999). Em função do regime de chuvas, principalmente as comunidades dos pequenos córregos e riachos são freqüentemente submetidas a mudanças drásticas nas condições limnológicas, fato que lhes confere complexidade nos métodos de estudo e conseqüentemente nas

estratégias de conservação das espécies (VITULE et al., 2008 a,b).

O aumento de temperatura tem profundos efeitos sobre os organismos por ser um dos mais importantes fatores abióticos, influenciando diretamente diversas funções fisiológicas do indivíduo, incluindo crescimento, tolerância térmica, reprodução, atividade e a capacidade de manter a homeostase interna, fatos que por sua vez, influenciam diretamente níveis ecológicos emergentes, como populações, comunidade e ecossistema. Neste sentido, a temperatura ambiente tem relação direta com os peixes de água doce os quais têm evoluído com as condições locais de seu micro climas (SCHMIDT-NIELSEN, 1990; FRY, 1971; PARTNER, 2008).

O conhecimento do efeito direto da temperatura sobre uma espécie é fundamental para a compreensão de mudanças provocadas pelo aquecimento global. O aumento do nível de CO₂ no ambiente está sinergeticamente relacionado ao aumento de temperatura da água, reduzindo a disponibilidade de oxigênio que gera uma hipóxia ambiental, a qual causa um aumento na sensibilidade nos extremos de temperatura (METZGER et al., 2007). O estresse térmico causa hipoxemia sistêmica nos organismos, e a interação entre temperatura e hipoxemia molda respostas adaptativas de níveis moleculares em todo o organismo. A integração destas respostas auxilia no ajuste e manutenção do metabolismo, e na funcionalidade em todos os níveis, seja a nível celular, dos tecidos ou em todo o organismo. Estas repostas têm um papel importante no contexto das mudanças climáticas e seus efeitos no ecossistema (PARTNER, 2009).

Em nível ecológico, os efeitos dependentes de temperatura podem alterar as interações entre as espécies. Por exemplo, podemos relatar alterações na cadeia alimentar (HELAOUET & BEAUGRAND, 2007), onde com a elevação de temperatura no Atlântico Norte, ocorreu o favorecimento das espécies menores de copépodos. A mudança no tamanho dos indivíduos da fauna de copépodos do mar do norte levou a uma diminuição da população de arenques *Gadus morhua* no atlântico, devido à redução no tamanho das partículas de comida para os peixes juvenis (HELAOUET & BEAUGRAND, 2007), indicando que um efeito fisiológico direto em uma presa potencial pode causar um efeito indireto no predador. Esta linha de pensamento já foi demonstrada em organismos terrestres, os efeitos das

alterações climáticas na biogeografia e na biodiversidade são independentes da posição da espécie na cadeia alimentar (HUNTLEY et al., 2004).

A capacidade de tolerância térmica dos peixes vem sendo estudada a mais de 100 anos, e as vertentes que despertam maior interesse para análise científica está em abordar espécies de interesse na aquicultura como, por exemplo, a tilápia *Oreochromis niloticus* (RANTIN, 1986) e o cará *Geophagus brasiliensis* (RANTIN, 1980) na pesca esportiva como, por exemplo, o “largemouth bass” *Micropterus salmoides* e a truta *Salmo trutta* (CURIE et al., 1998) e na aquariofilia como o plati *Xiphoporus maculatus* (PRODOCIMO & FREIRE, 2001). Com exceção do acará, poucos estudos foram realizados com espécies endêmicas da região neotropical no Brasil.

Os peixes são animais exotérmicos, cuja temperatura corporal depende principalmente de fontes externas de calor, quase sempre o sol (heliotérmicos). Por apresentarem uma temperatura corporal próxima à temperatura da água ao seu redor, qualquer aumento na temperatura atmosférica irá influenciar na temperatura da água e, conseqüentemente, a temperatura dos peixes. Esta variação de temperatura presente em maior parte dos peixes de água doce permite que os classifiquem em um grupo de organismos pecilotérmicos, onde a temperatura corporal é variável (WILLMER et al., 2005). Com esta variabilidade dependente do ambiente externo, evitar temperaturas possivelmente letais do ambiente é de extrema importância e faz parte das ações de uma vasta variedade de animais. Virtualmente todos os animais terrestres utilizam a tática de evitar os extremos como primeira linha de defesa contra o estresse térmico, assim como vários organismos estuarinos e dulcícolas, mas esta tática possui limites de acordo com a capacidade de dispersão da espécie. Segundo Willmer et al. (2005), espécies com distribuição mais restrita tendem a sofrer mais com os efeitos do aquecimento global.

Os organismos pecilotérmicos apresentam uma zona de tolerância térmica, que é uma faixa de temperatura ambiental, na qual o organismo pode sobreviver indefinidamente e apresenta as melhores condições de reproduzir e se desenvolver. Além dos extremos desta faixa, se encontra a zona de sobrevivência térmica, onde o organismo consegue manter-se vivo por determinado período de tempo. Dentro da

zona de tolerância existe uma faixa mais estreita de temperaturas que compreende a região de melhor performance para o organismo, ou seja, temperaturas preferenciais, próximas a uma temperatura “ótima” para vários de seus processos fisiológicos (WILLMER et al., 2005). Ao se comparar animais de um mesmo táxon, provenientes de zonas temperadas, tropicais e polares, observa-se faixas de temperatura ótima distintas, bem como tolerância diferencial a variações de temperatura (WILLMER et al., 2005). A tolerância térmica é determinada em partes pelo genótipo e parcialmente determinada pela capacidade do animal se aclimatar à mudança de temperatura, desta forma aclimatação é a resposta intermediária entre tolerância e termorregulação. Durante esse período, ajustes bioquímicos e fisiológicos graduais ocorrem para compensar a variação térmica do ambiente, seja este diário, mensal ou anual, permitindo que os processos biológicos continuem a ocorrer mesmo com a variação da temperatura. Este ajuste é chamado de aclimatização quando ocorre na natureza e aclimatação quando induzido em laboratório (WILLMER et al., 2005). A aclimatação pode alterar a amplitude da zona de tolerância térmica do organismo e é executado com exposição gradual a um aumento ou redução de temperatura, para que mecanismos fisiológicos possam atuar de maneira eficaz para manter a homeostase, quando afrontados com uma situação de aquecimento novamente (PORTNER, 2008; WILLMER et al., 2005).

O método de determinação da temperatura crítica (CTM, “critical thermal máxima”) (BECKER & GENOWAY, 1979) permite obter uma avaliação mais próxima do que pode ocorrer na natureza com relação a mudanças de temperatura. O método consiste em uma aclimatação dos indivíduos em diferentes temperaturas, esta aclimatação influencia a tolerância térmica dos organismos, especialmente antes de um teste com temperatura crítica, gerando resultados diferentes para indivíduos que foram aclimatados a temperatura ambiente e outros aclimatados em temperaturas maiores (LUTTERSCHMIDT & HUTCHISON, 1997). Em geral com o aumento da temperatura há um ganho no limite máximo e uma perda no limite mínimo (TOMANEK, 2008). A determinação é feita através de um aquecimento dos grupos de animais aclimatados a diferentes temperaturas a uma taxa constante, até a temperatura crítica máxima ser atingida. O conceito de temperatura crítica máxima utilizada é o proposto COWLES & BOGERT (1944), e é definida como a temperatura

na qual a atividade motora se torna desorganizada, e os animais perdem sua capacidade de escapar de condições possivelmente letais. Por meio desse método avaliam-se as respostas do animal frente ao aumento gradual de temperatura ao longo do tempo, ao invés do tempo de sobrevivência a temperatura letal sem exposição prévia, que seria um teste de LIT (temperatura letal incipiente)(BENNETH & JUDD, 1992).

Além de alterações moleculares e celulares, mudanças na temperatura do ambiente levam a diversas alterações fisiológicas. O aumento da temperatura em ambientes aquáticos reduz a concentração de oxigênio dissolvido disponível que pode acarretar situações de hipóxia. A capacidade do organismo em obter oxigênio nestas condições é caracterizada como limite térmico máximo dos exotérmicos aquáticos. Nessas condições, ocorre perda da performance funcional do organismo causado primariamente pelo estresse bioquímico. O metabolismo é reduzido, a demanda de O₂ é mantida em níveis basais através da redução da atividade aeróbica e utilização de respiração anaeróbica (PØRTNER et al., 2004; PØRTNER & LANNING, 2009). Concomitantemente a alterações bioquímicas, ocorre limitação dos sistemas circulatórios com um aumento do fluxo arterial e venoso até seu limite mesmo que a demanda por oxigênio aumente, e a limitação do sistema ventilatório que apesar de aumentar a intensidade do movimento opercular para circular mais água pelas brânquias para captura de oxigênio não consegue compensar a quantidade excessiva de oxigênio retirado do sangue (PØRTNER et al., 2004). Em última instância, ocorre a desnaturação protéica pelo calor (PØRTNER & LANNING, 2009), desorganização motora, perda de resposta a estímulo e perda de equilíbrio (FRY, 1947,1971; BEITINGER et al., 2000).

O efeito do aquecimento global não somente pode levar o organismo a uma condição letal, mas pode atuar na modificação de sua distribuição geográfica, efeitos inter e intra-específicos de competição por recursos e nichos preferenciais, transmissão de parasitoses devido à maior oportunidade de transmissão com uma maior densidade de peixes em um nicho, ou susceptibilidade do hospedeiro a novos parasitas de espécies que, com o aquecimento, conseguem ocupar novas regiões do ambiente (RAHEL, 2008).

Os experimentos do presente trabalho foram realizados com indivíduos pertencentes a duas espécies de peixes da Ordem Siluriformes. A ordem Siluriformes é monofilética, suportada por evidências moleculares (SULLIVAN et al., 2006), é um grupo altamente diverso de peixes ostariófitos, com um provável ancestral de hábito bêntico. Eles evoluíram no Cretáceo, aproximadamente 70 milhões de anos atrás. Os membros desta ordem são conhecidos popularmente como “catfishes” (mundialmente) ou bagres (no Brasil). O grupo conta com 35 famílias, 446 gêneros e aproximadamente 2.867 espécies descritas globalmente e 1.727 que ocorrem nas Américas. O número total de espécies faz dos siluriformes a terceira ordem mais diversa dos vertebrados, ou seja, um em cada 20 espécies de vertebrados pertence aos siluriformes (LUNDBERG et al., 2007)

Os Siluriformes estão presentes em todos os continentes, exceto Antártica (Nelson, 2006) e com a exceção de 117 espécies em duas famílias (Ariidae e Plotosidae) que habitam os oceanos, todas as demais pertencem a ambientes de água doce, e são especialmente abundantes na região dos trópicos da América do Sul, África e Ásia, sua ocorrência abrange uma faixa de temperatura de 5 a 38°C (ARRATIA et al, 2003; BRUTON, 1996). A maioria dos bagres se alimenta no leito, em geral são “flutuadores negativos” o que significa que geralmente irão afundar ao invés de boiar, isto se deve a uma bexiga natatória reduzida e uma cabeça óssea pesada. O corpo apresenta uma diversidade de formas, a típica é um corpo cilíndrico com a região ventral achatada que permite uma alimentação bêntica, geralmente através de sucção (BRUTON, 1996).

A primeira espécie estudada, *Corydoras ehrhardti* (Steindachner, 1910) (FIGURA 2) é uma espécie presente somente na América do Sul, com distribuição nos riachos costeiros do Rio Grande do Sul ao Paraná e pela bacia do rio Iguaçu e Tibagi. Como característico da ordem é um animal de hábito bêntico, o adulto chega a 4,1cm, vive em águas com temperatura média de 22 a 26°C e pH 6,0 – 8,0. (FROESE & PAULY, 2010).



Figura 2: *Corydoras Ehrhardti* (imagem de JJphotos.dk)

A segunda espécie estudada, *Scleromystax barbatus* (Quoy & Gaimard, 1824) (FIGURA 3) é uma espécie de distribuição ainda mais restrita sendo endêmica dos riachos costeiros da Floresta Atlântica, distribuindo-se do Rio de Janeiro a Santa Catarina. Possui habito benthico, em águas com temperatura média de 17 - 28°C e pH com 6,0 – 8,0. Seu comprimento chega a 9,8 cm, apresenta um acentuado dimorfismo sexual, com machos apresentando odontóides bem desenvolvidos, nadadeiras peitorais maiores (FROESE & PAULY, 2010)



FIGURA 3: *Scleromystax barbatus*. Imagem a esquerda uma fêmea, nadadeira lateral menor se comparada com o macho à direita. (Imagem de aforest.co.jp)

As duas espécies estudadas são da fauna nativa da Floresta Atlântica, um dos biomas mais ameaçados do mundo (Myers, 2000) sendo ilegais em aquariofilia. Apesar disso, ambas são amplamente utilizadas e apreciadas de forma clandestina ao redor do mundo, o que é algo muito preocupante em termos de conservação. Neste sentido, muitas informações não científicas encontram-se disponíveis, sobre como mantê-lo em aquários, reprodução em cativeiro e descrição

básica(http://fishprofiles.com/profiles/marine/Catfish_Bottom_Feeders/Scleromystax_barbatus/; http://www.planetcatfish.com/catalog/species.php?species_id=26; http://www.planetcatfish.com/catalog/species.php?species_id=475; http://fishprofiles.com/profiles/marine/Catfish_Bottom_Feeders/Scleromystax_barbatus/).

As espécies habitam uma zona intermediária de temperatura, e a amplitude de temperatura que são capazes de suportar no ambiente esta relacionada a diferentes áreas geográficas que a espécie habita (TOMANEK, 2008). Utilizando tratamentos iguais para espécies da mesma ordem e família, mas de gêneros diferentes, mas que se desenvolveram em microclimas diferentes dentro do bioma Floresta Atlântica. O *Corydoras ehrhardti* da vertente oeste e o *Scleromystax barbatus* da vertente leste da serra, proporciona uma comparação de táxon similar em microclimas distintos (MOYLE, 2004; ORMEROD, 2009). Pode-se avaliar comparativamente a plasticidade fisiológica das espécies frente ao aquecimento global tendo ponto de partida o seu microclima, e se este influência nos diferentes padrões de distribuição, também podendo atuar como subsidio para ações de manejo no caso de mudanças climáticas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da aclimação em diferentes temperaturas na tolerância térmica de duas espécies e gêneros pertencentes a Ordem Siluriformes, endêmicos da Floresta Atlântica, mas com distribuição distinta dentro da mesma.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a temperatura crítica máxima de *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus*.
- Inferir de forma comparativa a plasticidade das duas espécies e seu comportamento frente ao aquecimento global visando auxiliar como dado básico para modelos e medidas para a conservação das espécies;
- Relacionar as capacidades fisiológicas das espécies estudadas a aspectos evolutivos, biogeográficos e ecológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Corydoras ehrhardti e *Scleromystax barbatus* foram coletados utilizando peneiras com 80 cm de diâmetro e malha de 2 mm, em duas localidades distintas, Rio Piraquara (aproximadamente 25°29'24.74"S 49°05' 27.34"W) e rio Ribeirão (aproximadamente 25°36'S; 48°37'W).

O Rio Piraquara possui suas nascentes na vertente ocidental da serra do mar e seus tributários são riachos de águas cristalinas e de pouca profundidade. O clima da região é subtropical úmido mesotérmico (PEELS, 2007) e a temperatura média é inferior a 22°C no verão e inferior a 18°C no inverno (VITULE & ABILHOA, 2003). Foram coletados 49 indivíduos adultos de *Corydoras ehrhardti* medindo em média $4,80 \pm 0,41$ cm, com o menor indivíduo possuindo 4,1 cm e o maior indivíduo 5,7 cm.

A bacia do rio Ribeirão possui suas nascentes localizadas na Serra da Prata na vertente oriental da oriental da serra do mar (VITULE et al. 2008,a,b). O clima da região é tropical, superúmido, sem estação seca e isento de geadas (PEELS, 2007), a temperatura média anual fica entre 17 °C e 21 °C (MAACK, 1981). Neste local foram coletados 104 indivíduos adultos de *Scleromystax barbatus* adultos medindo em média $6,82 \pm 1,16$ cm, com uma amplitude de tamanho de 5 a 8,7cm.

TRANSPORTE E ACLIMATAÇÃO

Os espécimes oriundos das coletas foram transportados em caixas plásticas com aeração constante, até o Laboratório de Fisiologia Comparativa da Osmorregulação, do Departamento de Fisiologia, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

No laboratório os animais foram mantidos em um aquário estoque de 30 litros (29x36x26cm) com água filtrada, a temperatura mantida por um aquecedor de 50watts regulado para 18°C e aeração constante. O pH da água foi controlado, mantendo-se a $5,93 \pm 0,43$, e permaneceram sobre fotoperíodo natural. Durante o período de aclimação, os peixes foram alimentados diariamente no período da tarde com ração comercial floculada para peixes (Alcon mp230).

ACLIMATAÇÃO TÉRMICA

Após o período de sete dias de aclimação, foram montados 6 aquários individuais com tamanho de 21x13,5x18 cm contendo 3,4 litros de água filtrada, aeração constante, fotoperíodo natural e a temperatura ambiente, divididos em 2 aquários para cada temperatura de aclimação (20, 25 e 30°C). Para cada aquário de 20 e 25°C foram amostrados aleatoriamente 6 indivíduos do aquário estoque, para a temperatura de 30°C foram amostrados 7 indivíduos. Um aquecedor de 30 Watts foi ligado em cada aquário e a temperatura foi gradualmente sendo elevada a uma taxa de 2°C/hora até atingir a temperatura de aclimação desejada. Esta temperatura então foi mantida por 5 dias, e os indivíduos foram alimentados em dias alternados até 24 horas antes da determinação da tolerância térmica máxima.

DETERMINAÇÃO DA TOLERÂNCIA TÉRMICA MÁXIMA E RESPOSTA AO ESTÍMULO

Após o período de aclimação os experimentos de tolerância térmica máxima foram iniciados, sendo conduzidos sempre no período da tarde. A água dos aquários foi aquecida a uma taxa de $0,09 \pm 0,01$ °C/min. O limite térmico para cada temperatura de aclimação foi considerada a temperatura na qual 50% dos animais ($n=3$) perderam o equilíbrio (LOE 50% - "Loss of Equilibrium") (*sensu* HUTCHISON, 1997), ou seja, quando o peixe não consegue manter uma relação de orientação ventro-lateral com o fundo do aquário. O valor do limite térmico foi considerado como a média dos dois grupos testados para a mesma condição experimental.

O valor de início da perda de equilíbrio foi considerado a temperatura na qual o primeiro animal apresentou a perda de equilíbrio. Outros comportamentos foram analisados como perda de resposta ao estímulo, o qual foi realizado através de um toque suave com uma barra de vidro na região caudal do animal e parada respiratória, quando o movimento opercular cessa. Ao obter 50% dos indivíduos com perda de equilíbrio, estes foram transferidos para um Béquer contendo 250 ml de água com benzocaína 6% para anestesia e sacrifício.

ANÁLISE E ESTATÍSTICA

Os valores da temperatura crítica máxima para as duas espécies foram expressos em média \pm erro padrão da média de cada espécie (n=11-14) em cada temperatura de aclimação. Análise de variância (ANOVA de duas vias) foi utilizada avaliar o efeito da temperatura de aclimação (20, 25 e 30 °C) sobre os valores de temperatura crítica máxima para *C. ehrhardti* e *S. barbatus*, seguido de teste *post hoc* de Tukey com $p < 0,05$.

Cada aquário individual é considerado apenas uma réplica, sendo assim, no total se obtém apenas dois valores dos parâmetros avaliados para cada temperatura de aclimação em cada espécie, por isso a utilização do valor da média nos dois aquários (para os parâmetros de parada respiratória, perda de resposta a estímulos e desorganização motora). A regressão linear foi utilizada para obter a equação da reta, onde podemos extrair a informação de quantos °C o indivíduo ganha de tolerância para cada 1°C elevado na temperatura de aclimação.

RESULTADOS

1) TEMPERATURA CRÍTICA MÁXIMA

Os valores médios para temperatura crítica máxima (CTMax) das espécies *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus* após aclimação a 20, 25 e 30°C foram respectivamente: $35,3 \pm 0,17$; $37,02 \pm 0,1$ e $37,67 \pm 0,04$ °C para *C. ehrhardti* e $34,24 \pm 0,09$; $34,63 \pm 0,11$ e $35,2 \pm 0,12$ °C para *S. barbatus* (Figura 4), e ANOVA de duas vias indicou elevação da CTMax de *C. ehrhardti* quando comparada a CTMax de *S. barbatus* em todas as temperaturas de aclimação ($p < 0,001$). Para *C. ehrhardti*, a CTMax foi elevada com a temperatura de aclimação ($p < 0,001$), e para *S. barbatus* não houve diferença na CTMax ao se comparar os animais aclimatados a 20°C e 25°C ($p = 0,097$), e houve elevação da CTMax nos animais aclimatados a 30°C quando comparados aos aclimatados a 20°C ($p < 0,001$) e 25°C ($p = 0,002$) (Figura 4).

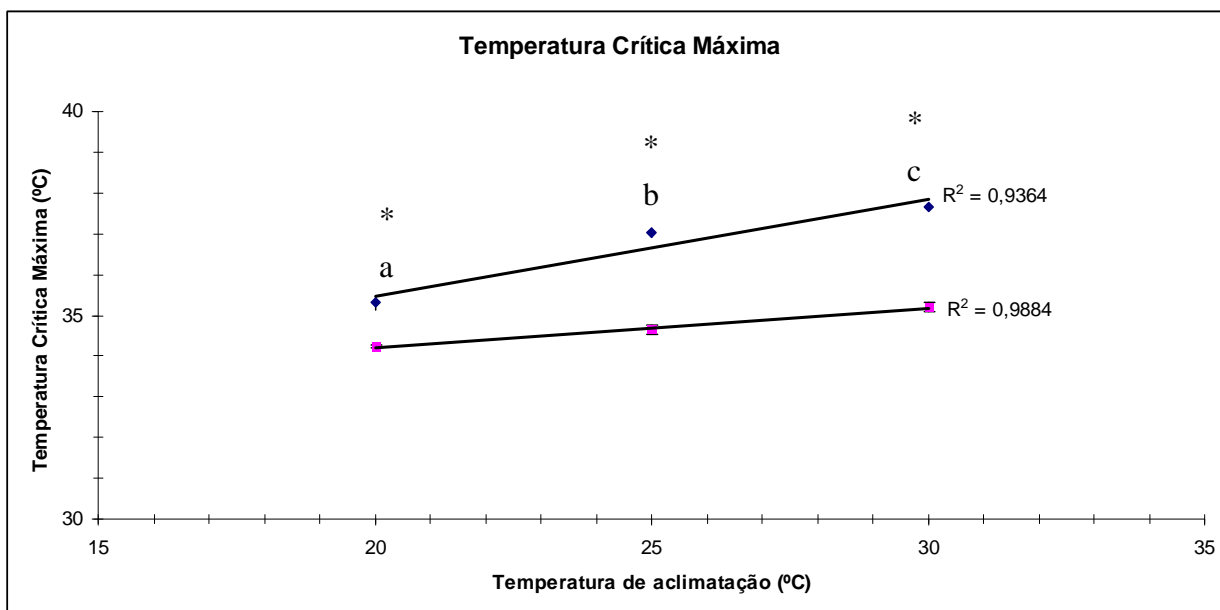


Figura 4: Temperatura crítica máxima (°C) para *Corydoras ehrhardti* (CE, losangos azuis) e *Scleromystax barbatus* (SB, quadrados rosas). Retas representam a regressão linear entre as médias de temperatura crítica máxima (°C) e as temperaturas de aclimação (°C) (CE, $r^2 = 0,9364$; SB, $r^2 = 0,9884$). Asterisco (*) indica diferença estatística entre as espécies na mesma temperatura de aclimação, e as letras diferentes indicam diferença para cada espécie entre as temperaturas de aclimação.

Ambas as espécies foram afetadas pela temperatura de aclimação. *C. ehrhardti* apresentou uma tolerância maior em cada temperatura de aclimação quando comparado a *S. barbatus*. Para as duas espécies há uma relação direta entre a temperatura de aclimação e temperatura crítica máxima, com altos coeficientes de regressão: $r^2 = 0,9634$ para *C. ehrhardti* e $r^2 = 0,9884$ para *S. barbatus*. O coeficiente angular para a equação de regressão linear ($Y = ax + b$) mostra que *C. ehrhardti* tem um ganho de $0,25^{\circ}\text{C}$ na temperatura máxima para cada 1°C na temperatura de aclimação, enquanto *S. barbatus* apresenta um ganho de $0,11^{\circ}\text{C}$ para cada 1°C na temperatura de aclimação, um efeito de aclimação 122% maior em *C. ehrhardti*.

2) FREQUENCIA RESPIRATÓRIA E PARADA RESPIRATÓRIA

Para os animais aclimatados a 20°C e submetidos ao teste de temperatura crítica máxima, o aumento da frequência respiratória (batimentos operculares) foi elevada a partir de $22,8^{\circ}\text{C}$ para *C. ehrhardti* e a partir de 22°C para *S. barbatus*,

apresentando uma diferença de 3,63% entre as espécies. Nas temperaturas de aclimações de 25 e 30°C a frequência respiratória apresentava-se acelerada e visualmente não pareceu modificar-se quando a temperatura foi elevada durante o teste, apesar de não ter sido quantificado.

Os movimentos operculares cessaram (parada respiratória) logo após a completa perda de equilíbrio do animal (repouso no fundo do aquário, total ausência de movimento ao ser estimulado, com o ventre voltado para cima ou repousado lateralmente). A temperatura para parada respiratória foi considerada a mesma na qual todos os indivíduos (100%) do grupo perderam a capacidade de manter o equilíbrio ocorreu (Loe 100% - "Loss of equilibrium"). Os valores médios de parada respiratória para as temperaturas de aclimação de 20, 25 e 30°C não foram diferentes entre as espécies: *C. ehrhardti* 35,95±0,45; 37,2±0,10 e 37,85±0,05°C; *S. barbatus* 34,95±0,05; 35,1±0,20 e 35,65±0,05°C.

3) PERDA DE RESPOSTA A ESTÍMULOS

Os animais controle de ambas as espécies mantidos no aquário estoque e nos aclimatados a 20, 25 e 30°C antes dos testes de tolerância térmica, apresentaram comportamento característico para as espécies da ordem Siluriformes, se mantendo em repouso no fundo. Durante o experimento, ocorreu a perda de resposta ao estímulo, momento no qual os animais não apresentaram uma resposta frente à estimulação com o bastão de vidro, permanecendo na mesma posição. Para *C. ehrhardti* e *S. barbatus* a perda de resposta a estímulo teve seu início entre 33-33,1°C.

4) TEMPERATURA DE INÍCIO DA PERDA DE EQUILÍBRIO

Para ambas as espécies, durante o período de aclimação a 20 e 25°C não ocorreu alteração da movimentação dos indivíduos que permaneceram em repouso no fundo do aquário. Durante o período de aclimação a 30°C os indivíduos mudaram o comportamento logo no início da aclimação, deixando de repousar no fundo, passando a nadar ativamente pelo aquário. Após um período de 24 horas de aclimação, os animais aclimatados a 30°C apresentaram o habito bêntico

novamente.

Este comportamento observado na aclimação térmica de 30°C tornou a ocorrer durante a experimentação, *C. ehrhardti* demonstrou o padrão de nadar ativamente pelo aquário na faixa de 29,7 a 31,9°C e *S. barbatus* na faixa entre 29,2 e 30,8°C, apresentando diferença de 0,66% a 1,7% entre as espécies. Os animais de ambas as espécies apresentaram este comportamento até a eventual perda de equilíbrio quando nadaram pequenas distâncias sem uma orientação entre ventre-fundo e ficaram em repouso no fundo.

O primeiro indivíduo a mostrar sinal de perda de equilíbrio teve a temperatura anotada e foi definido como início da perda de equilíbrio. Os valores médios para início da perda do equilíbrio nas temperaturas de aclimação de 20, 25 e 30°C foram respectivamente 34,5°C; 36,65±0,35°C; e 37,45±0,05°C para *C. ehrhardti*, e 33,9±0,1°C; 34,15±0,15°C; e 34,5°C para *S. barbatus* (FIGURA 5).

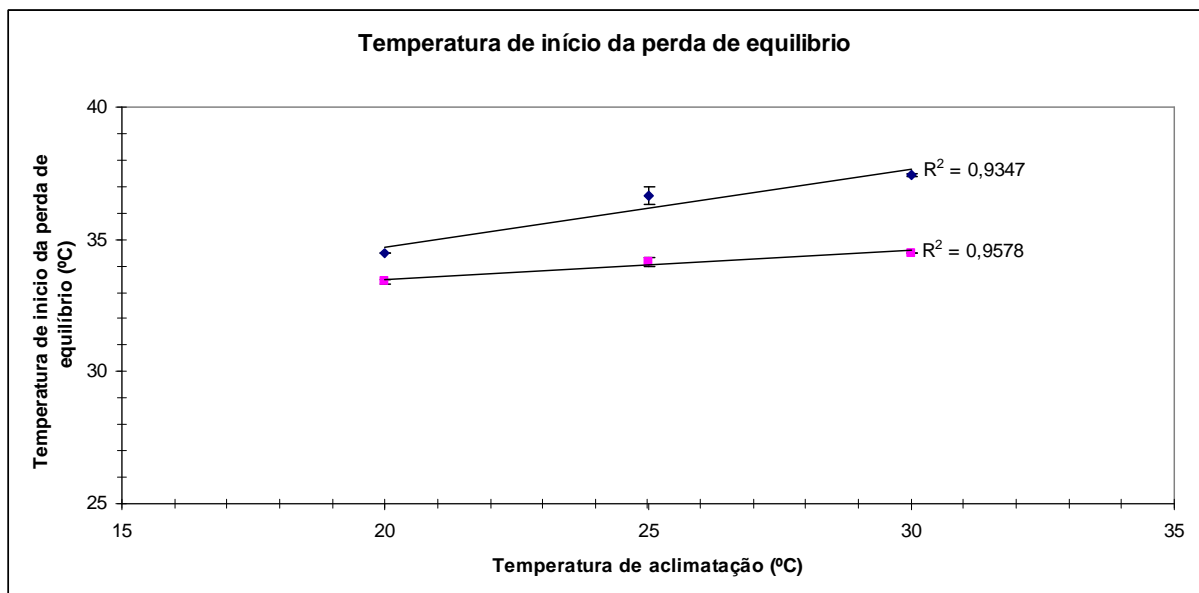


Figura 5: Temperatura de início da perda d equilíbrio (°C) para *Corydoras ehrhardti* (CE, losangos azuis) e *Scleromystax barbatus* (SB, quadrados rosas). Retas representam a regressão linear entre as médias de temperatura do início da perda de equilíbrio (°C) e as temperaturas de aclimação (°C) (CE, $r^2 = 0,9347$; SB, $r^2 = 0,9578$).

A desorganização motora atingiu os demais indivíduos de cada grupo conforme ocorreu o aumento de temperatura nos aquários. Existe uma correlação evidente entre a temperatura de aclimação e a temperatura que o primeiro indivíduo mostra sinal de desorganização motora, reforçado pelos altos valores da

regressão linear: R^2 *C. ehrhardti* – 0.9347; R^2 *S. barbatus* – 0.9578. Ao comparar as espécies entre os valores de início e para cada temperatura de aclimação respectivamente se obtém uma diferença entre *C. ehrhardti* e *S. barbatus* de 2,35%; 7,32% e 8,55%.

DISCUSSÃO

Ambas espécies *Scleromystax barbatus* e *Corydoras ehrhardti* apresentam um ganho na tolerância térmica máxima com o processo de aclimação que é refletido matematicamente pela magnitude da regressão linear entre as variáveis (temperatura de aclimação vs. temperatura crítica máxima). A mesma relação foi observada em outros comportamentos observados (início da perda de equilíbrio e perda de resposta a estímulo) também com valores altos nos coeficientes de regressão linear. Apesar da temperatura de aclimação influenciar a temperatura crítica máxima, esta influência está limitada por limites geneticamente impostos (WILLMER, 2005).

Os resultados obtidos para ambas as espécies demonstram a capacidade do organismo em se ajustar para confrontar um aumento de temperatura. Existe uma diferença de aproximadamente 2°C entre as temperaturas máximas de ambas as espécies em todos os tratamentos, esta diferença pode significar um indício da adaptação ao seu microclima (CUSSAC, 2009). *C. ehrhardti* proveniente do rio Piraquara, uma região com temperaturas médias entre 13 – 21°C apresentam uma maior amplitude sazonal de temperatura que *S. barbatus* proveniente do rio Ribeirão onde as temperaturas médias estão entre 17 – 21°C. A amplitude que *C. ehrhardti* está exposto ao longo do ano pode afetar sua plasticidade, onde no inverno os mecanismos apresentam um ganho de resistência ao frio, e durante o verão os organismos apresentam um ganho de resistência ao calor (PARTNER & LANNING, 2009).

O ambiente é muito mais estável no rio Ribeirão, a flutuação de temperatura é menor que a encontrada no rio Piraquara, o que pode levar os indivíduos de *S. barbatus* a não alocar energia para o controle de estresse térmico tão frequentemente quanto os *C. ehrhardti*. Esta alocação de energia pode refletir a diferença entre as temperaturas críticas máximas, onde o *C. ehrhardti* sujeito a uma amplitude possivelmente exibe um gasto maior na manutenção de mecanismos de estresse térmico do que *S. barbatus*. Este comportamento é bem detalhado para espécies de ambientes muito estáveis, como os peixes polares, a região dos pólos apresenta uma constância de temperatura em torno de 4°C durante o ano, os peixes

que habitam a região como o Arenque *Gadus morhua* apresentam uma tolerância térmica máxima muito pequena não chegando 8°C, apenas 4°C da temperatura em que se encontra (PARTNER & LANNING, 2009; PARTNER et al, 2008). O Antarctic eelpout *Pachycara brachycephalum* tem seu crescimento máximo a 4°C, sua resistência ao aquecimento é parecida com a do Arenque. Pouca resistência a aumento de temperaturas dos animais de regiões mais estáveis, como os pólos, pode ser explicada como uma estratégia de vida em utilizar o mínimo de energia no controle de estresse térmico, o que deixa um excesso de energia aeróbica para otimizar o crescimento e reprodução (CLARKE & JOHNSTON, 1999; PARTNER & LANNING, 2009). Geralmente a tolerância térmica de organismos exotérmicos pode refletir mecanismos adaptativos relacionado com as variações de temperatura que a espécie está submetida no seu habitat natural, como flutuações sazonais na temperatura (JOHNSON, 1998), onde as variações de temperatura são mais suaves do que em situação experimental, e estas podem não refletir a real plasticidade da espécie.

Na busca de padrões de limite térmico dentro da ordem Siluriformes em relação à distribuição geográfica, foram compilados dados de estudos utilizando a mesma metodologia empregada neste trabalho (TABELA 1). Os siluriformes já estudados apresentam um ganho em tolerância térmica máxima, muitos com CTMax próximo as 40°C. Para os trabalhos realizados com Siluriformes citados na tabela 1, todos corroboram o fato de que quanto maior a temperatura de aclimação maior a temperatura crítica máxima, evidenciando o processo de aclimação (BENNETT et al., 1987; DIAZ et al., 1999; VASAL et al., 1978; DEBNATH et al., 2006; DALVI et al., 2009). As duas espécies de Siluriformes estudadas *C. ehrhardti* e *S. barbatus* estão em áreas temperadas (PEELS, 2007) onde a variação de temperatura do ambiente é menor se comparada com as demais de áreas tropicais. Existe uma maior tendência de investimento em manutenção da homeostase interna frente ao estresse térmico em animais que estão em regiões com uma grande amplitude da temperatura ambiente (CLARKE & JOHNSTON, 1999; PARTNER & LANNING, 2009), se comparado com indivíduos onde a variação sazonal de temperatura é menor, como as regiões das espécies do presente estudo. Comparativamente as demais espécies que são tropicais apresentam maior resistência ao calor (revisado em PRODOCIMO & FREIRE, 2001).

Tabela 1: Temperatura crítica máxima de diversas espécies de Siluriformes para diferentes temperaturas de aclimação utilizando a mesma metodologia para experimentação (LOE 50). Para cada espécie há notação do clima baseada em Koppen e a faixa de temperatura média do local.

Siluriformes	Local / Clima Temperatura (°C)	Temperatura Aclimação (°C)	Temperatura. Crítica Máxima (°C)	Taxa aquecimento	Método	Referência
<i>Scleromystax barbatus</i>	Brasil / Cfb / 17-21°C	20	34,1	0,1°C / min	LOE50	
		25	34,55	0,1°C / min	LOE50	
		30	35,2	0,1°C / min	LOE50	
<i>Corydoras Ehrhardti</i>	Brasil / Cwa / 13-21°C	20	35,2	0,1°C / min	LOE50	
		25	37,2	0,1°C / min	LOE50	
		30	37,65	0,1°C / min	LOE50	
<i>Ictalurus punctatus</i>	América do Norte / Cfa / 10-32°C	10	30,9	0,3°C / min	LOE50	Benneett et al. (1987)
		20	38	0,15°C / min	LOE50	
		30	40,1	0,15°C / min	LOE50	
		35	42,1	0,15°C / min	LOE50	
		20	34,5	1°C / min	LOE50	Díaz et al (1999)
		26	39	1°C / min	LOE50	
		32	41,5	1°C / min	LOE50	
<i>Heteropneustes fossilis</i>	Índia / Am / 11 - 34°C	15,5	33	Não informado	LOE100	Vasal et al.(1978)
		30	40	Não informado	LOE100	
<i>Pangasius pangasius</i>	Índia / Am / 11 - 34°C	30	42,68	0,3°C / min	LOE50	Debnath et al (2006)
		34	43,67	0,3°C / min	LOE50	
		38	44,05	0,3°C / min	LOE50	
<i>Horabagrus brachysoma</i>	Índia / Am / 11 - 34°C	20	38	0,3°C / min	LOE50	Dalvi et al (2009)
		26	40,23	0,3°C / min	LOE50	
		31	41,79	0,3°C / min	LOE50	
		33	42,44	0,3°C / min	LOE50	

Para os dados de informações climáticas, como não consta nos artigos dos próprios autores, baseando-se na cidade e localização geográfica da mesma, utilizei a classificação proposta por Koppen (PEELS, 2007). Para Mumbai na Índia ficou *Am* (Tropical com efeitos da monções – inverno seco) com temperaturas médias de 19 – 34°C, para a região da costa leste dos Estados Unidos ficou *Cfa* (úmido semi-tropical) com temperaturas médias de 10 – 32°C.

A taxa de mudança de temperatura adotada em testes de tolerância térmica parece ter um efeito pronunciado nas estimativas dos limites térmicos críticos (LUTTERSCHMIDT & HUTCHISON, 1997a; BEITINGER et al, 2000). Mesmo que as taxas de aquecimento e tempos de aclimação sejam mais rápidas, a influência do

processo de aclimação pode ser evidenciada nas respostas dos animais. A expectativa típica é de que quanto mais devagar ocorre o aumento de temperatura da água e mais prolongado é o experimento maior será o valor crítico suportado. Mesmo taxas mais rápidas de aquecimento e pouco tempo de aclimação apresentam uma elevação na temperatura crítica tolerada devido à aclimação, indicando a plasticidade fenotípica do animal em curto prazo (PECK et al, 2009). No entanto, estudos recentes mostraram que o oposto também pode ser encontrado, onde taxas mais lentas de alteração de temperatura diminuem os valores críticos (revisado por MORA & MAYA, 2006). A taxa utilizada neste estudo ($0,1^{\circ}\text{C}$) se encontra dentro dos padrões utilizados em diversos estudos (TABELA 1) com peixes. Taxas muito baixas de mudança de temperatura podem levar a uma maior aclimação no decorrer do próprio experimento (HUTCHISON, 1961), ou ocasionar um ajuste devido ao tempo mais prolongamento de aclimação (ELLIOT & ELLIOT, 1995).

Peixes possuem comportamentos específicos em resposta a aclimação térmica, antes que ocorra um colapso, levando ao estresse e perda de desempenho devido a hipóxia, problemas com agentes patológicos e ultimamente a morte (WILLMER, 2005). Como proposto por Diaz & Bueckle (1999), o ponto final de temperatura crítica máxima (CTMax) deveria ser considerado como a resposta ao estresse térmico que modifica a preferência final da espécie, uma vez que o estresse térmico neste estágio possivelmente também afeta o sistema sensorial e nervoso do organismo. A preferência final é anotada no momento em que os organismos começam a buscar um ambiente mais favorável, onde nadar ativamente pelo aquário pode ser interpretado como um comportamento de busca por esta ambiente. Peixe em seu habitat natural tem a disposição a possibilidade de migrar para diversos gradientes de temperatura, evitando assim o estresse térmico (NELSON, 2006). Na situação experimental notou-se o reflexo deste comportamento na faixa dos 30°C .

Com esta restrição, os indivíduos dispõem de mecanismos fisiológicos para lidar com este aumento de temperatura. Numa tentativa de compensar a demanda elevada por oxigênio devido ao aumento da temperatura, os peixes aumentam o suprimento de oxigênio através da elevação da frequência respiratória (MARK, 2002), como observado para *C. ehrhardti* e *S. barbatus* aclimatados a 30°C . Enquanto os sistemas ventilatório e circulatório aceleram para manter um

suprimento de oxigênio para o organismo (o sistema circulatório fica perceptível ao se observar o ventre dos indivíduos, onde após minutos de exposição aparece uma vascularização intensa) a musculatura ventilatória (movimento da boca e opérculo) e especialmente circulatória consomem a maioria do oxigênio extra recebido, assim apenas exacerbando o déficit de O_2 , levando a um ciclo de aumento na deficiência de oxigênio, até o acúmulo de substâncias da anaerobiose (MARK, 2002; MARKUS, 2000).

A falta de um suprimento adequado de oxigênio e o acúmulo de substâncias proveniente da anaerobiose são apontadas como as principais responsáveis pela perda de resposta aos estímulos e posterior perda de equilíbrio, através de danos nos sistemas sensorial e nervoso (PÖRTNER, 2000). No experimento realizado com *C. ehrhardti* e *S. barbatus* verificou-se o mesmo padrão de comportamento, a perda de estímulo e posterior perda de equilíbrio com total colapso respiratório após alguns minutos. O déficit de oxigênio não se restringe às capacidades dos sistemas dos organismos, mas está relacionado com o aumento da temperatura ambiente que fará o meio aquático conter menor concentração de O_2 dissolvido, podendo diminuir os limites térmicos tolerados (PÖRTNER, 2000; 2007; 2008).

No trabalho, a temperatura e a limitação de oxigênio são mecanismos importantes, mas não o único mecanismo quando se pensa no ambiente natural. Os limites fisiológicos terão um papel importante no balanço ecológico, mas serão apenas uns de vários mecanismos (BARNEDS & PECK, 2008). Considerando aquecimento global com sua taxa relevante (décadas) de aquecimento, mecanismos fisiológicos e ecológicos são decisivos para a sobrevivência. Quando as condições mudam rapidamente (pouco tempo de aclimação), mecanismos de resistência são importantes, e a limitação por O_2 é demonstrada e amplamente aceita por ser o mecanismo que determina a sobrevivência. A taxas menores de mudanças (meses a anos) na aclimação térmica e outros processos, como a taxa de utilização de reservas, se tornam importantes em ditar a sobrevivência. Neste contexto, a aclimação a vários processos fisiológicos é importante (transporte de membrana, vascularização, funções neuromusculares, homeostase celular, organização locomotora, alimentação) e uma aclimação deficiente em qualquer um destes poderia afetar o desempenho fisiológico e ecológico, levando a perda no crescimento e reprodução (WILLMER et al., 2005; PÖRTNER, 2008).

Com a taxa de mudança prevista pelos modelos climáticos, vários fatores ecológicos se tornam importantes e que estão fora dos mecanismos fisiológicos limitantes. O aquecimento também acarretará mudanças no equilíbrio competitivo, na disponibilidade de recursos e nichos (CHOW & GASTON, 2008). Há muito pouca informação onde limites fisiológicos se mesclam com restrições ecológicas. Em relação somente a tolerância de ambas as espécies, elas superaram a pior previsão, de 8°C proposta no IPCC 2007, mas isto só diz respeito à capacidade do organismo e nada pode ser inferido quanto a fatores abióticos e bióticos que interagem com o organismo. Ajustes nos planos de manejo se fazem necessários às mudanças que o aquecimento global pode acarretar (RAHEL, 2008), tornando necessário medidas de conservação do ambiente que incorporem a manipulação do habitat, ou determinação de áreas que tenham maior resiliência contra os efeitos climáticos, ou para manutenção e adaptação das áreas existentes para que aumente sua resiliência.

CONCLUSÕES

Corydoras ehrhardti e *Scleromystax barbatus* demonstram resposta de aclimação a elevação de temperatura com uma relação positiva, quanto maior a temperatura de aclimação maior a temperatura crítica máxima suportada pelos indivíduos. As respostas comportamentais a elevação da temperatura condiz o que se observa em outros peixes, sendo o primeiro comportamento, uma tentativa de fuga ao estresse térmico, com os indivíduos nadando ativamente pelo aquário, seguindo-se a perda de resposta a estímulos e desorganização motora, quando os indivíduos já apresentam perda de equilíbrio ao nadar e por fim com a parada respiratória, verificada pela parada dos movimentos da boca e do opérculo. A temperatura crítica máxima para as duas espécies, ambas com a temperatura crítica máxima acima dos 34°C, permite que ao menos fisiologicamente *Corydoras ehrhardti* e *Scleromystax barbatus* sejam capazes de sobreviver ao aquecimento global nas taxas previstas de 4°C a cada 100 anos. A diferença nas temperaturas críticas máximas pode ser explicada por uma adaptação ao microclima onde cada espécie habita. A estabilidade sazonal de temperatura dos ambientes é capaz de alterar a quantidade de energia que a espécie aloca para os mecanismos de combate ao estresse térmico. *Corydoras ehrhardti* está sujeito a uma variação sazonal de temperatura maior que *Scleromystax barbatus*, que se encontra em um microclima mais estável, esta pode ser a razão da temperatura crítica máxima do *C. ehrhardti* ter sido superior ao do *S. barbatus*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abilhoa V., Duboc L.F. (2004). Livro Vermelho da Fauna ameaçada no Estado do Paraná. p. 581-584.

Arratia, G., Kapoor, B. G., Chardon, M. & Diogo, R. (eds.). (2003): Catfishes. Vols. 1 & 2. – XVI + 812 pp.; Enfield, New Hampshire, Plymouth, UK (Science Publishers, Inc.).

Barnes, D.K.A. & Peck, L.S. (2008) Is Antarctic shelf biodiversity vulnerable to climate change?. *Global Change Biology*, 37: 149–163.

Becker, C.D., Genoway, R.G., 1979. Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of freshwater fish. *Environ. Biol. Fishes* 4: 245–256.

Bennett, W.A. & F.W. Judd. 1992. Comparison of methods for determining low temperature tolerance: experiments with pinfish, *Lagodon rhomboides*. *Copeia* 1992: 1059–1065.

Beitinger T. L., Wayne A. Bennettb & Robert W. McCauleyc (2000). Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Envir. Biol. Fishes* 58: 237–275.

Bruton M. N. (1996). Alternative life-history strategies of catfishes. *Aquat. Living Resources*. 9: 35-41

Chown, S.L. & Gaston, K.J. (2008) Macrophysiology for a changing world. *Proceedings of the Royal Society B*, 275: 1469–1478.

Clarke, A., and Johnston, N. M. (1999). Scaling of metabolic rate and temperature in teleost fish. *J. Annu. Ecol.* 68: 893–905.

Cussac V.E. , D. A. Fernandez, S. E. Gomez, H. L. Lopez (2009). Fishes of southern South America: a story driven by temperature. *Enviro. Biol. Fishes* 55: 270–275.

Dalvi R. S. , Asim K. P. , Lalchand R. Tiwari b, Tilak Das a, Kartik Baruah (2009). Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures. *Aquaculture* 295: 116–119

Diaz F. & Bueckle L.F. (1999) – Effect of the critical thermal maximum on the preferred temperatures of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperature. *Journal of Thermal Biology* 24: 155-160

Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2010). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (acesso em 09/2010).

Fry F.E.J. (1971) The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. In: Hoar WS, Randall DJ (eds) *Fish physiology: environmental relations and behavior*. Academic Press, New York, pp 1–98

Harrington, R., Woiwod, I., and Sparks, T. (1999). Climate change and trophic interactions. *Trends Ecol. Evol.* 14: 146–150.

Helaouet, P., and Beaugrand, G. (2007). Macro-ecological study of the niche of *Calanus finmarchicus* and *C. helgolandicus* in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Mar.Ecol. Progr. Ser.* 345: 147–165.

Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., et al. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318:1737–1742.

Huntley, B., Green, R. E., Collingham, Y. C., Hill, J. K., Willis, S. G., Bartlein, P. J., Cramer, W., Hagemerijer, W. J. M., and Thomas, C. J. (2004). The performance of models relating species geographical distributions to climate is independent of trophic level. *Ecol.Lett.* 7: 417–426.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) *Climate change 2007: the scientific basis*. Cambridge University Press, Oxford, UK

Johnson J.A. & Kelsch S.W (1998). Effects of evolutionary thermal environment on temperature preference relationship in fishes. *Envir. Biol. Fishes* 4:447-458

Lundberg, John G.; Friel, John P. (2003-01-20). "[Siluriformes](#)". [Tree of Life Web Project](#). Retrieved 2010-11-18

Lowe-McConnel, R.H. (1975). *Fish communities in tropical freshwater: their distribution, ecology and evolution*. London: Longman. 337p.

Lowe-McConnel, R.H.(1999). *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo: Edusp. 535p.

Luning, K. (1990). *Seaweeds: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology* John Wiley, New York. *Ecol. Lett.* 9: 317–324

Lutterschmidt, W.I. & V.H. Hutchison. (1997a). The critical thermal maximum: data to support the onset of muscle spasm as the definitive end point. *Can. J. Zool.* 75: 1553–1560.

Lutterschmidt, W.I. & V.H. Hutchison. (1997b). The critical thermal maximum: history and critique. *Can. J. Zool.* 75: 1561–1574.

Mark, F.C., Bock, C., Pörtner, H.O., (2002). Oxygen limited thermal tolerance in Antarctic fish investigated by magnetic resonance imaging (MRI) and spectroscopy (³¹P-MRS). *Am. J. Physiol.* 283:1254–1262.

Markus F. & PÖRTNER H.O. (2000) Oxygen limitation of thermal tolerance defined by cardiac and ventilatory performance in spider crab, *Maja squinado*. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 27:151-1538

Metzger, R., Sartoris, F. J., Langenbuch, M., and Pörtner, H. O. (2007). Influence of elevated CO₂ concentrations on thermal tolerance of the edible crab *Cancer pagurus*. *J. Therm. Biol.* 32: 144–151.

Moyle PB, Cech JJ (2004) *Fishes: an introduction to ichthyology*, 5th edn. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

Mora C. & Maya M.F. (2006). Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes. *Jor. Thermal Biol.* Volume 31. 4:337-341.

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.

Nelson J.S. (2006). *Fishes of the world*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 4th edition. 601 pp. ISBN: 0-471-25031-7.

Ormerod S.J. (2009) Climate change, river conservation and the adaptation challenge. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 19: 609–613.

Peck LS, Clark M, Morley M, Massey A, Rossetti H. 2009. Animal temperature limits and ecological relevance: effects of size, activity and rates of change. *Funct. Ecol.* 23:248–56.

Peel, M. C. and Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007). "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification". *'Hydrol. Earth Syst. Sci.'* 11: 1633–1644.

Pörtner H.O. , Mark F.C., Bock C.. (2004). Oxygen limited thermal tolerance in fish? Answers obtained by nuclear magnetic resonance techniques. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 14: 243–260

Pörtner H. O. and Lannig G. (2009). Oxygen And Capacity Limited Thermal Tolerance. In Jeffrey G. Richards, Anthony P. Farrell, and Colin J. Brauner, editors: *Fish Physiology*, Burlington: Academic Press, 27: 143-191.

Pörtner H. O., Bock C., Gisela Lannig, Magnus Lucassen, Felix Christopher Mark, Franz Josef Sartoris (2008). Cod and climate in a latitudinal cline: physiological analyses of climate effects in marine fishes. *Clim. Res.* 37:253-270.

Parmesan, C., and Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.

Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., and Reynolds, J. D. (2005). Climate change and distributionshifts in marine fishes. *Science* 308: 1902–1905.

Prodocimo V. , Freire C.A. (2001). Critical thermal maxima and minima of the platyfish *Xiphoporus maculatus* Gunther (Poecillidae, Cyprinodontiformes) – a tropical species of ornamental freshwater fish. *Revista Brasileira de Zoologia*. 18:97-106.

Rahel F.J, Britta B. and YOSHINORI T. (2008). Managing Aquatic Species of Conservation Concern in the Face of Climate Change and Invasive Species. *Cons. Biol.* Vol. 22 :551-561

Rantin F.T , Fernandes M.N. (1986). Lethal temperature of *Oreochromis niloticus* (Pisces – Cichlidae). *Revista brasileira de biologia*. 46:589-595

Rantin F.T. (1980). Temperaturas letais do Acará *Geophagus brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1824 – Pisces, Cichlidae). *Fisiologia Animal*. 4:9-33.

Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., and Pounds, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.

Southward, A. J., Hawkins, S. J., and Burrows, M. T. (1995). Seventy years' observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. *J. Therm. Biol.* 20: 127–155.

Debnath, A.K. Pal □, N.P. Sahu, K. Baruah, S. Yengkokpam, T. Das, S.M. Manush (2006). Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish

Pangasius pangasius (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. *Aquac.* 258: 606–610

Sullivan, JP; Lundberg JG; Hardman M (2006). "A phylogenetic analysis of the major groups of catfishes (Teleostei: Siluriformes) using *rag1* and *rag2* nuclear gene sequences". *Mol Phylogenet Evol.* Vol. 41 3: 636–62.).

Schmidt-Nielsen K. (1990). *Animal physiology: adaptation and environment*, 4th edn. University of Cambridge Press, Cambridge, UK.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Ferreira de Siqueira, M., Grainger, A., Havannah, L., Hughes, L., Huntley, B., et al.. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145–148.

Tomanek L. (2008). The importance of Physiological Limits in Determining Biogeographical Range Shifts due to Global Climate Change : The Heat Shock Response. *Physio. and Bioch. Zoo.* 81:709-717.

Vasal S & Sundararaj B.I. (1978). Thermal tolerance and preference of the indian catfish *Heteropneustes fossilis*- *Env. Biol. Fish.* Vol 3. 3:309-315.

Vitule J.R.S & Abilhoa V. (2003) – A composição da ictiofauna na bacia hidrográfica do rio Piraquara, alto rio Iguaçu, região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. *Estudos de biologia.* v.25, n.52, p.43-49

Vitule J.R.S , Freire C.A. & Simberloff (2008a) – Introduction of non-native freshwater fish can certainly be bad. *Fish and Fisheries* Vol 10. 1:98-108.

Vitule, J.R.S., Umbria, S.C. and Aranha, J.M.R. (2008b) Record of native amphibian predation by the alien African catfish in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Pan-American J. of Aquatic Sci.* 3: 105–107.

Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., and Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.

Willmer P., Graham S. & Johnston I. (2005). *Environmental physiology of animals* – 2nd edition Blackwell Publishing. Pages 179-215.

□